

зуются в основном для спорта, подготовки моряков, рыбного промысла и для научных экспедиций. Советское парусное судно «Заря» оснащено специальной аппаратурой для измерения магнитного поля Земли. Чтобы не мешать показаниям этих приборов, на судне нет ни одной железной детали.

Парусное судно может двигаться даже против ветра, используя его силу. Это кажется удивительным: судно перемещается по ломаной линии. Такой способ движения называется лавировкой. Если при таком движении ветер дует справа, то говорят, что судно идет правым галсом; если слева — то левым галсом. Чтобы парусник мог лавировать, у него должен быть большой и тяжелый киль. Тяжесть повышает остойчивость при боковом ветре; большая площадь киля создает большое сопротивление при боковом смещении судна; сопротивление движению вперед у него в сотни раз меньше, чем в боковом направлении.

Рассмотрим лавировку на примере яхты (рис. 11). Сила ветра OA создает силу OB , действующую на парус PP_1 . Силу OC учитывать не нужно, так как ветер совсем не действует на парус, когда он дует вдоль его плоскости.

Разложим теперь силу OB на две силы: одну — OK , движущую судно по направлению киля LL_1 ; другую — OM , перпендикулярную к направлению киля; силу OM можно не принимать во внимание, так как вода оказывает очень большое сопротивление такому перемещению лодки. Таким образом, очень большая сила OA теряет свою большую составляющую OC , другая его часть — OM давит на киль, но киль не сме-

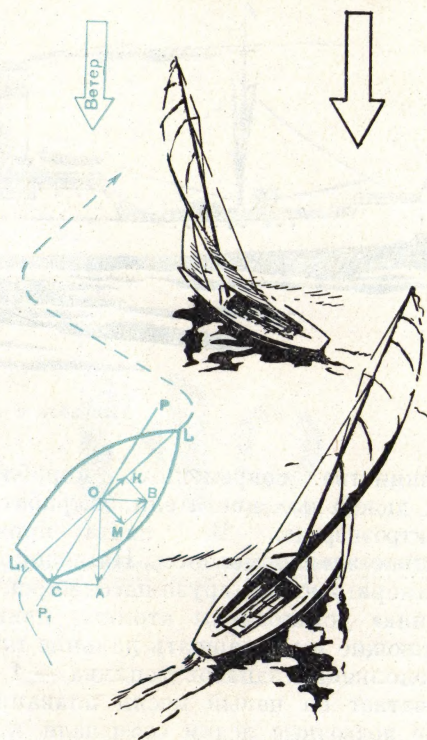


Рис. 11. Лавирование парусного судна.

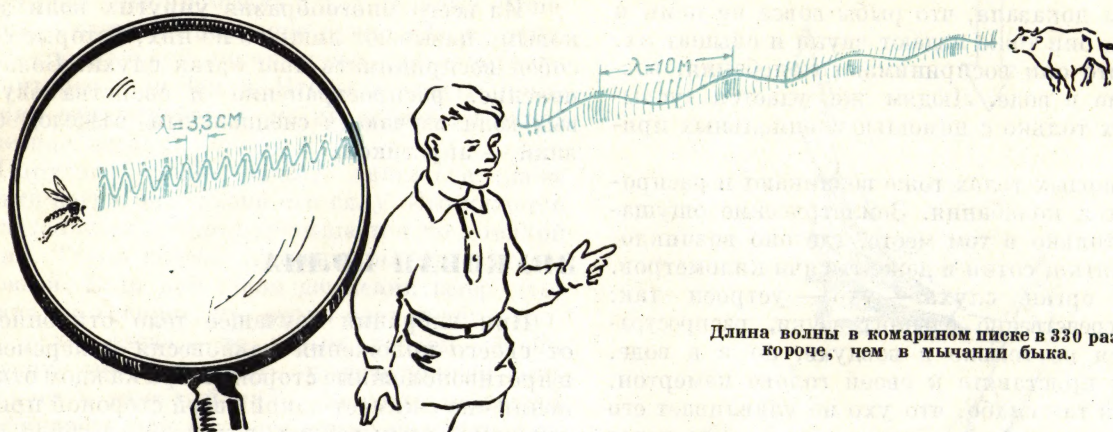
щается из-за большого сопротивления воды. И только небольшая часть силы OA — в направлении OK — двигает яхту хоть и наискосок, но все же навстречу ветру. Пройдя немного так, левым галсом, яхтсмен изменит положение паруса, и яхта пойдет правым галсом.

ЗВУК

Кажется, совсем не нужно пояснять, что такое звук. Это то, что мы слышим. Это и нежная мелодия скрипки, и тревожный звон колокола, и грохот грома или водопада, и слова, произносимые человеком... Все это звуки, и потому мы их слышим. Но само физическое явление — звук — существует на Земле помимо человека. В те далекие времена, когда на Земле не было не только людей, но и простейших живых организмов, гремели грозные раскаты грома, грохотали водопады, земную кору потрясали невиданные землетрясения. Но эти звуки никто не слышал, потому что некому

было их слышать. Природа щедра, но ничего она не делает даром, без нужды. И если почти всем животным на Земле природа подарила способность воспринимать звуки, значит, им это было необходимо, без этого они не могли бы выжить в борьбе за существование.

С точки зрения физики звук — это возникновение и распространение колебаний в каком-либо веществе, будь то воздух, жидкость или твердое тело. Если бы на Луне были живые существа, слух им не понадобился бы: на Луне нет атмосферы, и в безвоздушном пространстве ничему колебаться, там нет и звука.



Длина волны в комарином писке в 330 раз короче, чем в мычании быка.

тью. Их зависимость друг от друга можно выразить в простой формуле:

$$\lambda = \frac{v}{\nu}.$$

Так как период колебаний, т. е. время, за которое проходит одно колебание, определяется через частоту $T = \frac{1}{\nu}$, то связь этих величин выражается формулой:

$$\lambda = vT.$$

Когда над вашим ухом зудит комар, вы слышите звуки очень высокого тона. Их частота превышает 10 000 колебаний в секунду, длина же звуковой волны равна приблизительно 3,3 см.

В мычании быка нет звуков с частотой, большей 30 *гц*. Наименьшая длина волны такого звука равна примерно 10 м. Остальные звуковые волны в мычании быка длиннее 10 м.

КАК ИЗМЕРИЛИ СКОРОСТЬ ЗВУКА

Мысль измерить скорость звука впервые пришла английскому философу Фрэнсису Бэкону. По его совету этим занялся французский ученый Марен Марсенн. В 1630 г. он провел наблюдение над выстрелом из мушкета. Расстояние между наблюдателем и мушкетом было поделено на время, прошедшее между вспышкой от выстрела и долетевшим до наблюдателя звуком. Марсенн нашел, что скорость звука равна 230 туазам в секунду, что соответствует 448 м/сек.

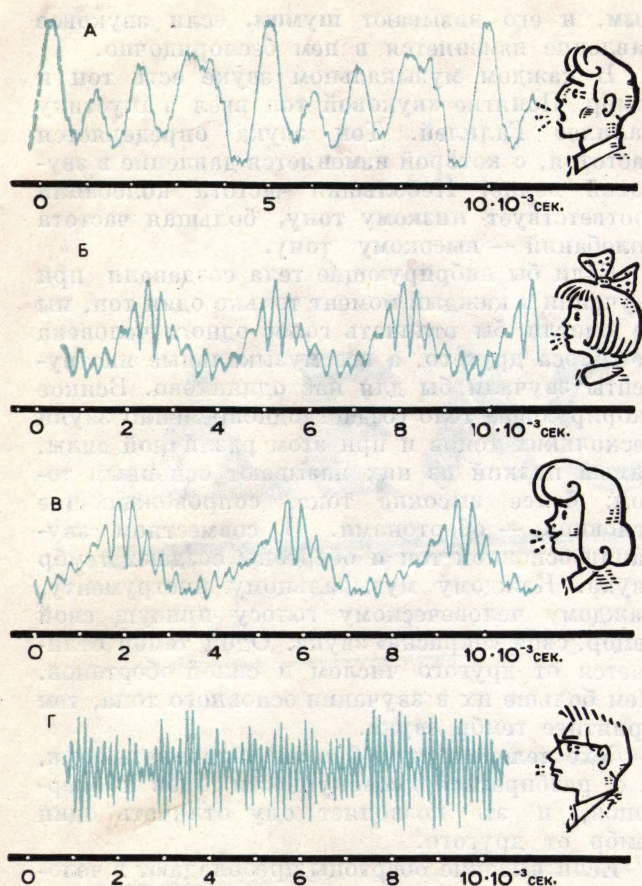
Спустя полвека английский ученый Исаак Ньютон вычислил скорость звука теоретиче-

ски, исходя из упругих свойств воздуха и зависимости объема газа от давления, зависимости, выраженной законом Бойля—Мариотта. Эта скорость оказалась немногим более половины скорости, полученной в опыте Марсенна. Когда теория противоречит опыту, следует искать, где же ошибка. Ее начали искать и в теоретических рассуждениях Ньютона, и в опыте Марсенна.

В 1738 г. французская Академия наук повторила измерение скорости звука. Опыт был поставлен на холме Монмартр, близ Парижа. Было установлено, что скорость звука равна 171 туазу в секунду, что соответствует 337 м/сек. Несовпадение с опытом Марсенна объяснили тем, что его измерение времени было несовершенным. Однако и результат повторного опыта не соответствовал теоретической формуле Ньютона.

В 1808 г. французский ученый Пуассон выяснил, что закономерность, обнаруженная Бойлем и Мариоттом (именно она была положена в основу расчетов Ньютона), неприменима для описания, как распространяется звук в воздухе. Этот закон справедлив лишь в том случае, когда объем газа изменяется медленно — так, что сжимаемый газ отдает среде, которая его окружает, возникающее в нем тепло; или, наоборот, так, что медленно расширяющийся газ успевает нагреваться от окружающей среды. Следовательно, постоянство температуры воздуха (основное условие закона Бойля—Мариотта) может быть сохранено лишь в **изотермических** условиях, т. е. при свободном теплообмене между сжимаемым газом и окружающей этот газ средой.

Именно этих условий и нет в звуковой волне. Теплопроводность воздуха мала, а расстояние



Человеческий голос — это сложное колебание, состоящее из многих простых колебаний различного тона и громкости: А — гласная «а», произнесенная мужским голосом, основная частота — 200 колебаний в секунду; Б — гласная «и», высокий голос девочки, основная частота — 350 колебаний в секунду; В — это тоже «и», только произнесенное низким женским голосом, основная частота — 250 колебаний в секунду; Г — так построена волна «беззвучной» согласной «с», ее частота — около 6000 колебаний в секунду.

вают «мягким», «бархатистым». При этом нельзя упускать из виду, что восприятие голоса слухом зависит не только от частоты колебаний и силы звука, не только от тонов и обертонов, но и от чувствительности уха к тонам различной высоты.

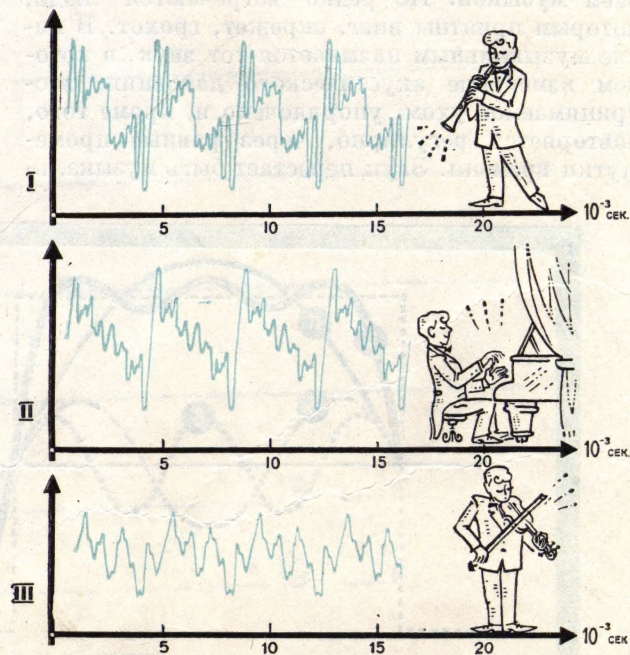
МУЗЫКАЛЬНЫЕ СОЗВУЧИЯ

В музыкальных произведениях — симфониях, концертах, сонатах — одновременно звучит не один тон, а несколько, и каждый из них сопровождается своими обертонами. Такое явление называется созвучием.

Самое простое созвучие — одновременное звучание двух тонов. У каждого из них своя частота колебаний. Отношение двух таких частот называют интервалом. Если это отношение равно 1:1, интервал будет унисоном. Отношение 1:2 — октава, 2:3 — квинта, 3:4 — кварта, 4:5 — большая терция, 5:6 — малая терция.

Если частоты двух тонов очень мало отличаются друг от друга, их совместное звучание создает своеобразное завывание — «биение»: совместное звучание периодически то усиливается, то ослабляется. Количество усилений в одну секунду называют частотой биений. Если частота биений не больше четырех в секунду, они не мешают слуховому восприятию. Если же частота достигает трех десятков (и особенно тридцати трех), звуковое ощущение нестерпимо. Однако при большой частоте (около 130 в секунду) влияние биений на ощущение слуха исчезает.

При звучании струн скрипки, виолончели, рояля всегда слышны, кроме основного тона, верхние обертоны. Предположим, что одновременно звучат две струны, их основные частоты — 200 и 400 гц и у каждой струны 5 обертонов.



Одна и та же нота — до первой октавы — звучит на разных музыкальных инструментах по-разному. Различие зависит от тембра, который придается ноте инструментом: I — так волна этой ноты выглядит, когда ее воспроизводят на кларнете; II — та же нота, воспроизведенная на пианино; III — до первой октавы на скрипке.

точно определяют место, откуда действует даль-
нобойная артиллерия.

В воде инфразвук поглощается также зна-
чительно слабее слышимых звуков и потому
может быть уловлен за много сотен километров.
Это помогает рыболовецким судам быстро на-
ходить стаи рыб, издающих инфразвук.

На очень большой морской глубине, куда
не проникает свет, живут рыбы, у которых нет
зрения. Но они возмещают его способностью
издавать ультразвуковые волны и восприни-
мать эхо от этих волн. Это позволяет им не
только ориентироваться при движении, но и
охотиться на других рыб.

Ультразвуком пользуется и летучая мышь.
Наблюдая ее стремительный полет, невольно
ожидает, что она вот-вот налетит на ствол
дерева или стену здания. Но каждый раз, встре-
чая на пути препятствие, она стремительно
взмывает вверх или круто поворачивает в сто-
рону. Исследования естественных опытных до-
казали, что зрение у летучей мыши весьма сла-
бое. Она почти слепа. Но умение пользоваться
ультразвуком и его отражением от предметов
помогает ей ориентироваться в сложной обста-
новке и на лету ловить добычу — мелких мо-
шек.

ИЗЛУЧАТЕЛИ УЛЬТРАЗВУКА

Чтобы излучатель мог создавать упругие
волны ультразвука, частота его колебаний дол-
жна превышать 20 000 гц. Такие излучатели
открыты уже давно, но применяться стали сов-
сем недавно. В 1880 г. французские ученые бра-
тья Пьер и Поль Кюри исследовали свойства
кристаллов. Они заметили, что, если кристалл
кварца сжать с двух сторон, на его гранях,

перпендикулярных направлению сжатия, воз-
никают электрические заряды: на одной гра-
ни — положительные, на другой — отрицаель-
ные. Таким же свойством обладают кристаллы
турмалина, сегнетовой соли, даже сахара. Заря-
ды на гранях кристалла возникают и при его
растяжении. Но на грани, дававшей при сжа-
тии положительный заряд, при растяжении
будет отрицательный, и наоборот.

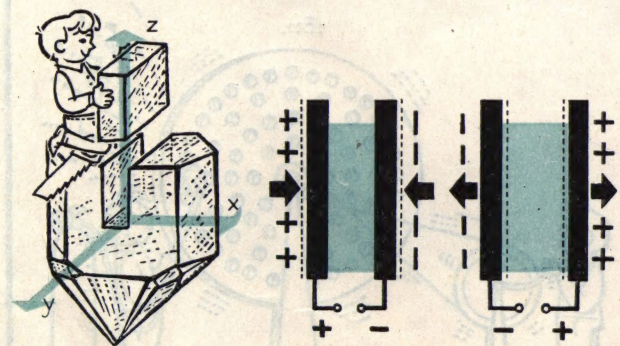
Такое возникновение электрических заря-
дов на кристаллах было названо **пьезоэлектри-
чеством** (от греческого слова «пьеzo» — давить).
Кристалл, имеющий такое свойство, называют
пьезоэлектриком. В дальнейшем братья Кюри
обнаружили, что пьезоэлектрический эффект
обратим: если на гранях кристалла создать
разноименные электрические заряды, он либо
сожмется, либо растянется, в зависимости от
того, к какой грани приложен положительный
и к какой отрицательный заряд.

Пьезоэлектричество впервые было практи-
чески применено лишь в мировой войне 1914—
1918 гг. Французский ученый Поль Ланжевен
предложил использовать это явление, чтобы
обнаруживать подводные лодки. Винт лодки
порождает при своем вращении упругие волны.
Они распространяются в воде со скоростью
1460 м/сек. Если пьезоэлектрический кристалл,
опущенный в воду, окажется на пути ультра-
звуковой волны, то волна сожмет его грани
и на них появятся электрические заряды.

Ланжевен изобрел и излучатель ультра-
звуковых волн. Пробуя заряжать грани квар-
цевого кристалла электричеством от генера-
тора переменного тока высокой частоты, он
установил, что кристалл совершает при этом
колебания в такт изменению напряжения тока.
Одна пластинка кристалла излучает ультра-
звук очень малой мощности. Чтобы получить
большую мощность колебаний, Ланжевен со-
ставил из многих кварцевых пластинок мозаич-
ный слой. Кварцевую мозаику он вложил
между двумя стальными листами. Они и скреп-
ляли ее, и были электродами.

Чтобы увеличить амплитуду колебаний у
пластинок кристалла, Ланжевен воспользо-
вался явлением резонанса: если собственная
частота колебаний пластинки совпадает с ча-
стотой колебаний напряжения на электродах,
амплитуда колебаний на пластинке резко воз-
растает. Исследования Ланжевена дали воз-
можность изготовлять кварцевые излучатели уль-
тразвука различных частот.

Пьезоэлектрическими свойствами обладают
не только кристаллы, но и керамика из титаната



Получение кварцевой пластинки и образование на ней пьезо-
электричества. Основная часть кварцевого кристалла — шести-
гранная призма, стрелками показаны основные ее кристалло-
графические оси.

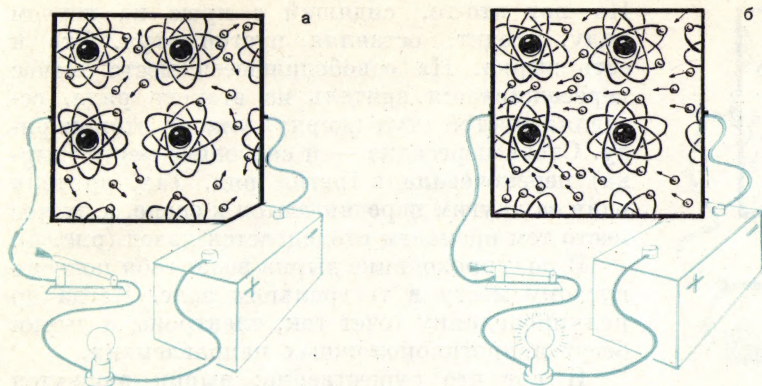


Рис. 1. Электроны в проводнике: а — «свободные» электроны образуют в металле электронный газ, б — под действием электрического поля электроны двигаются к положительному полюсу — течет ток.

наружные, так называемые валентные электроны атомов (те самые, что создают химические связи) ведут себя в проводниках иначе, чем в изоляторах.

В металле валентные электроны не удерживаются у атомов, соскакивают с них и свободно блуждают, образуя внутри металла своеобразный электронный газ. Правда, частицы этого газа — электроны — не могут уйти из металла. Общее притяжение положительно заряженных ядер надежно удерживает электронный газ внутри металлического предмета. Можно считать, что валентные электроны там обобществлены: принадлежат сразу всем атомам вместе, а не каждому из них в отдельности.

Стоит прижать металлическую проволоку к полюсам электрической батареи, как частички электронного газа подхватываются электрическим полем и устремляются к положительному полюсу. По металлу начинает течь электрический ток (рис. 1).

Из школьных опытов читатель, вероятно, помнит, что при нагревании проводника его электропроводность падает. Спираль электрической плитки сразу после включения в сеть обладает значительно меньшим сопротивлением, чем когда докрасна раскалится. Как это можно объяснить?

Электронный поток в металле пробивается через кристаллическую решетку атомов, лишенных внешних электронов. Но ведь атомы не стоят неподвижно. Чем выше температура, тем сильнее колеблется решетка. И электронному потоку все труднее пробиваться сквозь нее, ибо раскачивающиеся из стороны в сторону атомы сбивают электроны с пути.

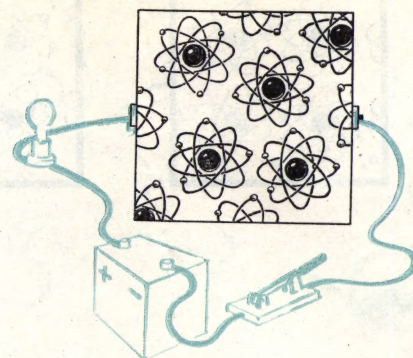


Рис. 2. В изоляторе нет электронного газа. Все электроны связаны в атомах, и электрическое поле не может создать ток.

В фарфоре, как и в любом другом изоляторе, дело обстоит иначе. Электронного газа там нет, атомы крепко удерживают свои внешние электроны (рис. 2). В изоляторе нечему переносить ток. Правда, если очень сильно разогреть изолятор, его иногда все же можно сделать электропроводным: при интенсивном тепловом движении атомы начнут терять валентные электроны, которые и станут носителями тока. На этом принципе, кстати сказать, устроены «градусники», измеряющие очень высокую температуру (выше тысячи градусов).

ЭЛЕКТРОНЫ В ПОЛУПРОВОДНИКЕ

Полупроводники занимают промежуточное положение между проводниками и изоляторами. При низкой температуре большинство внешних электронов в полупроводнике «сидит» в атомах на своих местах. Но связаны они с атомами слабее, чем в изоляторе. Участвуя в тепловом движении, атомы раскачиваются и теряют наружные электроны. При нагревании полупроводника в нем увеличивается количество электронного газа, т. е. свободных электронов, способных переносить электрический ток.

Значит, полупроводник при нагревании не уменьшает, как металл, а, наоборот, увеличивает свою электропроводность (рис. 3). В этом заключается важный физический признак любого полупроводникового материала.

Характерна и другая особенность. Оказывается, в полупроводнике переносят ток не только оторвавшиеся от атомов электроны, но и электроны, которые сравнительно слабо свя-

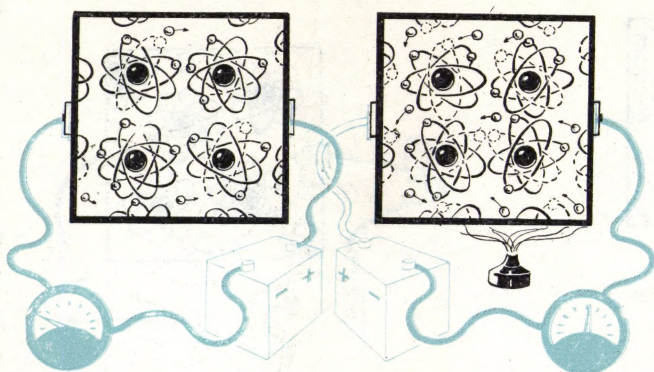


Рис. 3. В полупроводнике электроны могут срываться с внешних оболочек атомов и занимать места на внешних оболочках других атомов. При нагревании полупроводника такой процесс становится интенсивнее, и электропроводность полупроводника увеличивается.

заны с атомами и могут освобождаться под действием тепловых колебаний или под действием электрического поля.

В куске полупроводника, соединенном с полюсами электрической батареи, атомы кристаллической решетки колеблются. Электроны с них срываются, тотчас подхватываются электрическим полем и летят к положительному полюсу. Но в каждом атоме, избавившемся от электрона, остается как бы «свободное место». Оно остается пустым лишь ничтожное мгновение. Под действием электрического поля на него сразу же переходит электрон с соседнего атома. Не получая полную свободу, такой электрон просто «меняет хозяина»; он стремится при этом двигаться туда, куда его влечет электрическое поле батареи. Но, «скакнув» на освободившееся место, электрон-«перебежчик» освобождает место, на котором был раньше. Туда тоже устремляется электрон с более далекого атома. На место этого электрона «соскакивает» с соседнего атома следующий электрон и т. д. Словом, стремясь к положительному полюсу батареи, электроны как бы «скачут» по атомам. Это создает значительную добавку к обычному электронному току, текущему через полупроводник. Такая добавка называется «дырочным» током. А «свободные места», по которым «прыгают» в атомах связанные электроны, физики именуют «дырками».

«ДЫРКИ»

Вот сравнение, которое поможет лучше уяснить, в чем сущность понятия «дырки». В театре сидит публика. Зал заполнен до отказа.

Но вот кто-то, сидящий с краю на первом ряду, уходит, оставляя пустой стул. Это и есть дырка. На освободившееся место тотчас пересаживается зритель из второго ряда, оставляя пустой стул (дырку) уже во втором ряду. Снова пересадка — и свободное место (дырка) перекечевала в третий ряд. Так, зрители один за другим передвигаются к сцене, а пустое место тем временем отодвигается назад (рис. 4).

В полупроводнике дырка ведет себя подобно пустому месту в театральном зале. Когда по полупроводнику течет ток, электроны и дырки бегут в противоположных направлениях.

И вот что существенно: дырки движутся к отрицательному полюсу, т. е. как частички, несущие положительный электрический заряд. Закономерности движения дырок таковы, что этим «пустым местам» физики условно приписывают и заряд (равный заряду электрона, но

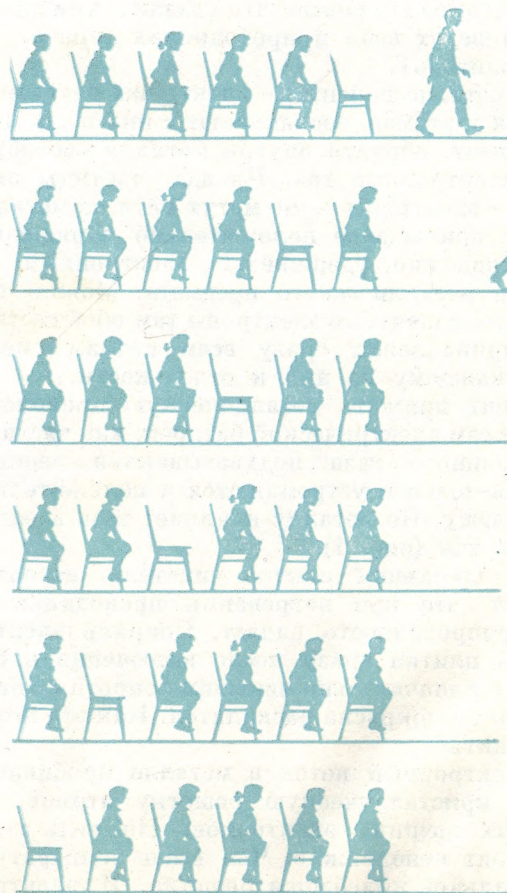


Рис. 4. Электроны в полупроводнике — как зрители в театральном зале; пересаживаясь со стула на стул поближе к сцене, они перемещаются в одну сторону. А дырки, как освободившиеся места, движутся в другую сторону.

положительный), и «эффективную массу»: принимают для удобства расчетов, что дырки обладают определенной массой (немного большей, чем у электронов, потому что дырки не так подвижны, как электроны).

Выходит, что поведение дырки во всем подобно поведению материальной частицы с самым маленьким в природе положительным зарядом. Принято считать, что эта «частица», как и свободный электрон, служит в полупроводнике носителем электрического тока. Разумеется, надо помнить, что дырка понятие чисто условное. Это совсем не настоящая частица. На самом деле в ней нет ни заряда, ни массы. Пользуются понятием «дырки» лишь ради удобства, чтобы избежать сложных и громоздких рассуждений.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Стоит ввести в чистый полупроводник совсем небольшое количество другого химического элемента, как появляется либо избыток электронов, либо избыток дырок. Например, закись меди обогащается электронами, если меди в ней больше «нормы», если же в ней есть «лишний» кислород — дырками. Происходит это потому, что атомы кислорода оттягивают на себя электроны и создают избыток дырок, а атомы меди, наоборот, отдают свои электроны, создавая избыток электронного газа. Те полупроводники, в которых основные носители тока — электроны, называются **электронными**. А материалы с избытком дырок именуются **дырочными** и полупроводниками.

Изготовить полупроводник — дело очень нелегкое. Главная трудность — в очистке материалов. Например, полупроводниковый кристаллический германий надо так очистить, чтобы на миллион его атомов приходилось не более одного атома примесей. Еще большей чистоты требуют физики от кремния: на миллиард атомов не больше одного чужого! Современная

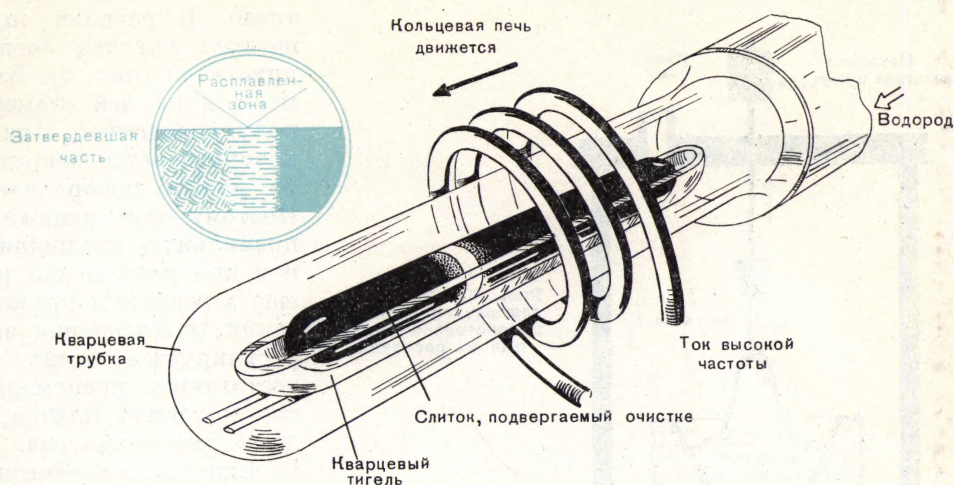


Рис. 5. Схема установки для очистки германия зонной плавкой.

техника справляется с такой очисткой материалов. Для этого применяют разные методы.

Химики давно подметили, что кристалл всегда чище жидкости (раствора или расплава), из которой он выращен. Ведь в кристаллическую решетку встраиваются без помехи только атомы, принадлежащие веществу кристалла. Для других атомов в кристалле нет «подходящего места», и если они иногда «принимаются в строй», то лишь в виде исключения. Поэтому, например, лед на поверхности моря менее соленый, чем морская вода.

Следовательно, чтобы очистить полупроводник, можно сначала расплавить его, а затем вырастить из расплава кристалл. Если эту операцию повторить многократно, с каждым разом кристаллы будут получаться все чище и чище. Такое выращивание кристалла — дело совсем не простое. Посуда для расплава должна быть жаростойкой и идеально чистой. На всем протяжении процесса должны быть обеспечены определенные, строго регулируемые условия. Кристаллизация — капризный процесс, и управлять ею нужно с исключительной аккуратностью.

Германий до кристаллизации подвергают так называемой зонной плавке (рис. 5). Длинный германиевый слиток, положенный в графитовую лодочку, помещают в кварцевую трубку, из которой удален воздух (или заменен инертным газом). Трубку охватывает кольцевая высокочастотная электропечь, которая в каждый момент воздействует на сравнительно узкий участок слитка. Включается ток, высокочастотное поле расплавляет полупроводник. В твердом

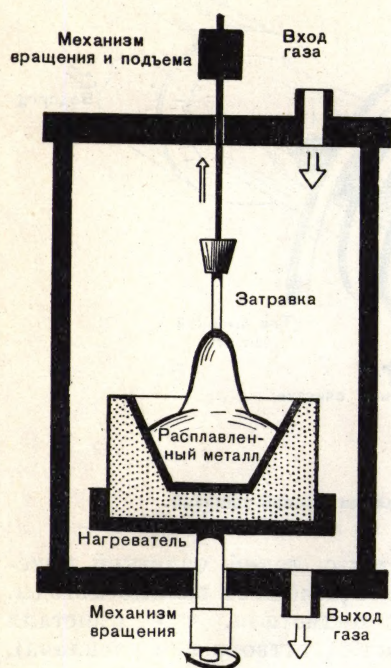


Рис. 6. Установка для вытягивания монокристаллов германия из расплава.

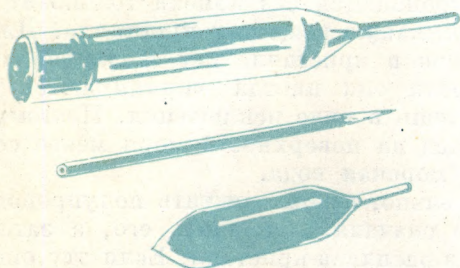


Рис. 7. Слитки германия (верхний) и кремния (нижний), полученные выращиванием кристалла. Величиной они сравнимы с карандашом.

слитке получается жидкая перемычка. Кольцевая электропечь медленно (несколько сантиметров в час) продвигается вдоль трубки. Вместе с ней движется в слитке и расплавленная зона. Позади этой зоны, в затвердевающей части слитка, германий оказывается очищенным, потому что примеси переходят в зону расплава. Так эти примеси отгоняются к другому концу слитка.

Зонная плавка, даже повторенная много раз, еще не обеспечивает нужную чистоту полупроводника. Германий надо подвергнуть кристаллизации в атмосфере очищенного водорода. Слиток, полученный после зонной плавки, расплавляют на этот раз целиком в идеально чистом

тигле. В расплав опускают затравку — крошечный кусочек очень чистого германиевого кристалла (рис. 6). Затравку медленно поднимают и на ней «намерзают» слои очищенного полупроводника. При этом затравка плавно поворачивается вокруг своей оси, а тигель так же плавно поворачивается в другую сторону. Поэтому выращенный кристалл приобретает правильную цилиндрическую форму (рис. 7), и в нем равномерно распределены оставшиеся еще в германии примеси. Скорость кристаллизации (вытягивание затравки и ее вращение) регулируется очень тщательно — этим тоже достигается равномерность очистки. Так же как и зонная плавка, кристаллизация проводится несколько раз.

Еще труднее очистить кремний. Графитовые тигли для этого непригодны: они недостаточно жаростойки (температура плавления у чистого кремния примерно 1400°C). Пользуются сверхчистыми кварцевыми тиглями или вовсе обходятся без тиглей: в вертикально укрепленном слитке ведут так называемую бестигельную зонную плавку (рис. 8) — перекристаллизацию «на весу». А это очень трудный и тонкий процесс.

В многократно очищенный материал добавляют уже другие, но нужные примеси. Так получают полупроводники с самыми разнообразными свойствами и назначениями. Ничтожные добавки различных веществ превращают электронный полупроводник в дырочный, и наоборот. Тем же способом можно в сотни, в тысячи раз изменять электропроводность этих материалов и регулировать другие их свойства.

ТЕРМИСТОРЫ

Самая простая особенность полупроводника — ярко выраженная зависимость его электропроводности от температуры. Чем сильнее нагрет полупроводниковый материал, тем обильнее в нем освобождаются электроны и образуются дырки, тем лучше он проводит ток. Поэтому из полупроводников делают простые и надежные электротермометры. Их называют термосопротивлениями или термисторами (рис. 9).

Каких только термисторов сейчас не встретишь на наших заводах, в научно-исследовательских институтах, в больницах и даже в колхозах! Есть, например, многометровые штанги, которыми удобно проверять температуру где-нибудь в глубине наполненного зерном элеватора. Есть термисторы, похожие на кин-

Фотосопротивления умеют оценивать качество шлифовки, окраски изделия. Часто применяются они в аппаратах техники безопасности. Стоит рабочему случайно попасть рукой в опасное место машины, как на фотосопротивление падает тень, и ток, текущий через него, прекращается, что служит командой для немедленной автоматической остановки машины.

С помощью миниатюрных фотосопротивлений сконструирована в СССР интересная «читающая машина» для слепых. Ее чувствительный элемент, двигаясь вдоль строки книги, улавливает очертания букв печатного текста. Электрические сигналы преобразуются в движения маленьких стерженьков, которые слепой ощущает пальцами. Человек, лишенный зрения, получает возможность читать обычные книги, а не только выпуклые тексты, специально изготовленные для слепых, как это было прежде.

Фотосопротивления, как и термисторы, могут обладать очень высокой чувствительностью. Прибавьте к этому надежность и прочность, и вы поймете, как ценны эти приборы для техники.

НАГРЕВАТЕЛИ И СВЕТИЛЬНИКИ

Представьте себе электрокипяtilьник для воды в виде небольшой трубки, которая надевается прямо на водопроводный кран. Трубка сделана из стекла, на которое изнутри нанесена тонкая пленка полупроводника. Когда через пленку идет ток, полупроводник сильно разогревается и струя воды в трубке закипает. Вы открываете кран и спустя секунду из трубки льется кипяток!

Некоторые полупроводники создают при электрическом воздействии яркое свечение. Явление объясняется просто: электрическое поле воссоединяет электроны с дырками. Электроны как бы «проваливаются» в дырки. При этом освобождается энергия, которая и выделяется в виде света. Физики пытаются на этой основе создать экономичные, удобные светильники, плоские телевизионные экраны (рис. 11) и многое другое.

Существуют полупроводниковые материалы, которые светятся от воздействия потока электронов, рентгеновских и ультрафиолетовых лучей. Эти вещества — отличные покрытия для экранов рентгеновских установок, телевизионных трубок, ламп дневного света. Люминофоры — светящиеся материалы, которые в наши



Рис. 11. Примерно так будет выглядеть плоский телевизионный экран.

дни все шире входят в технику, в быт, даже в искусство, — это не что иное, как полупроводники.

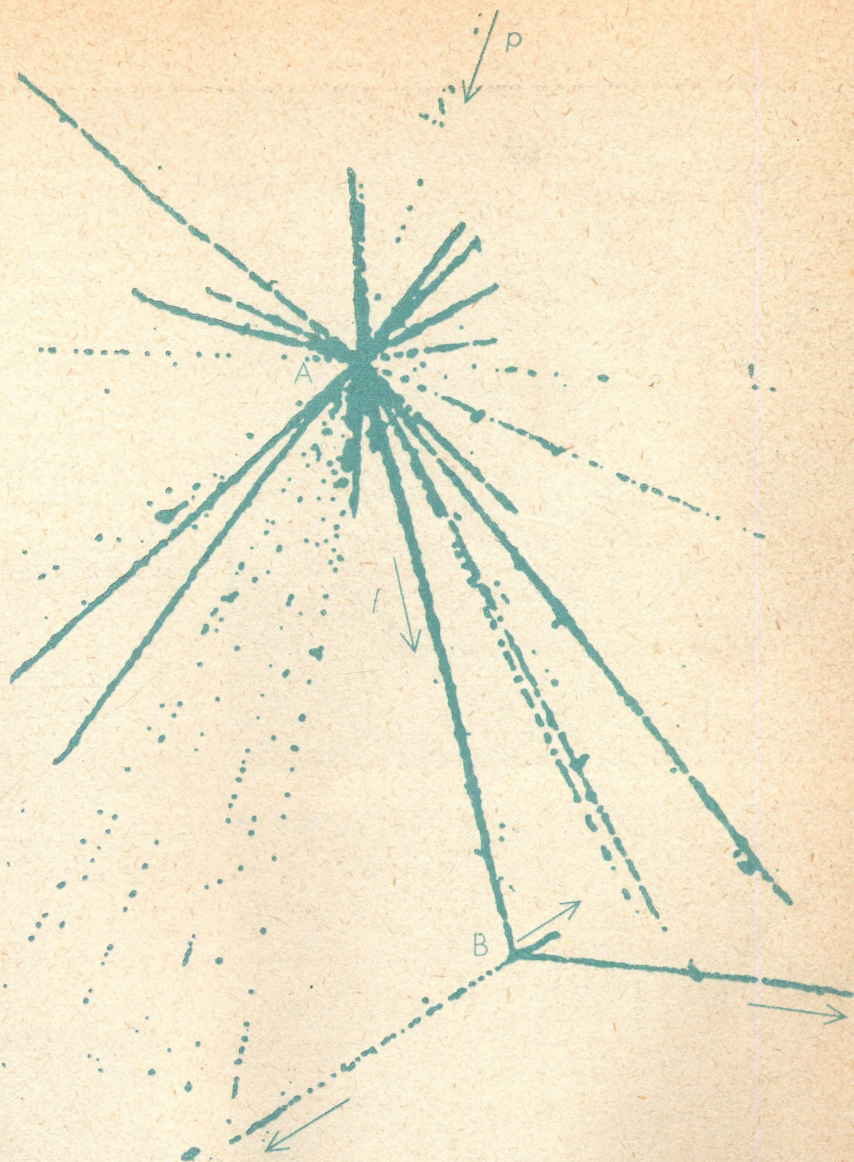
Из полупроводников теперь делают счетчики радиоактивных частиц, всякого рода индикаторы и указатели, которые светят непрерывно десятки лет, питаясь энергией радиоактивного распада какого-либо вещества. Известны, наконец, полупроводники, которые способны как бы заряжаться светом, а потом отдавать его по электрической «команде».

ЗАПИРАЮЩИЙ СЛОЙ

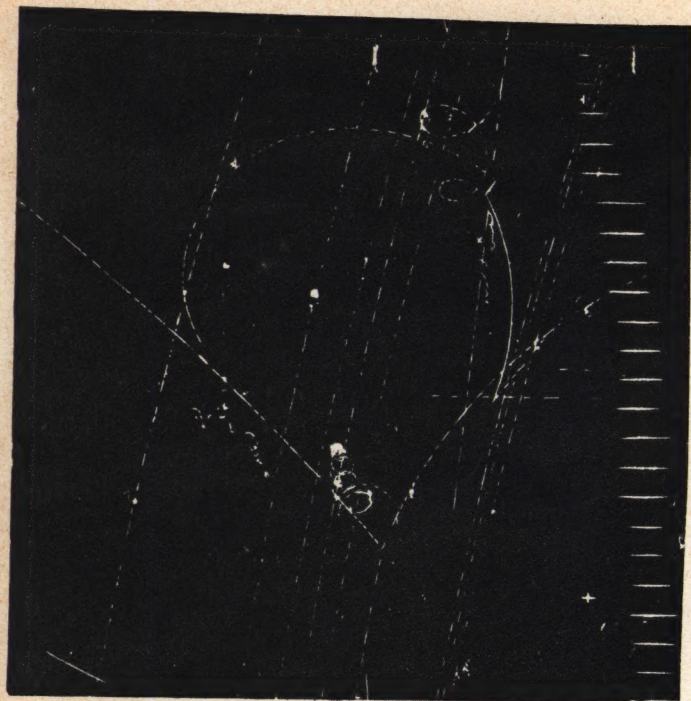
До сих пор мы говорили о техническом применении полупроводников какого-либо одного вида — либо электронных, либо дырочных. Но есть устройства, в которых сочетаются оба вида полупроводников.

Представьте себе полупроводник, в котором как бы срослись два слоя с разными примесями — электронный и дырочный. Из электронного слоя в дырочный продвигаются благодаря диффузии электроны. Они оставляют пустые места в атомах — дырки. В дырочном же слое электроны-пришельцы «проваливаются» в дырки, количество которых поэтому уменьшается. За границей раздела получается с дырочной стороны избыток электронов, а с электронной —

Фотография электронно-фотонного «ливня».

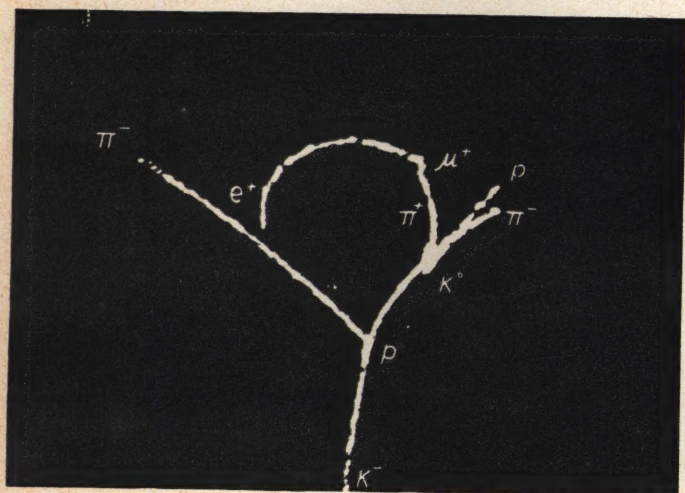


На этом снимке показано, как ядерные частицы оставляют свои следы в эмульсии фотопластинки. Протон p , прилетевший к нам в составе космических лучей, столкнулся с ядром атома серебра и выбил из него целую «звезду», состоявшую из различных частиц. Одна из этих частиц — f — так называемый гиперфрагмент — содержит в своем составе гиперон. В точке B гиперфрагмент распался на три заряженные частицы и несколько нейтронов (нейтроны на снимке не видны, так как они не оставляют следы). Снимок получен в Варшаве польскими физиками Марианом Даныш и Ежи Пневским в 1952 г. В этой их работе были впервые обнаружены гиперфрагменты — атомные ядра, содержащие в своем составе гипероны.

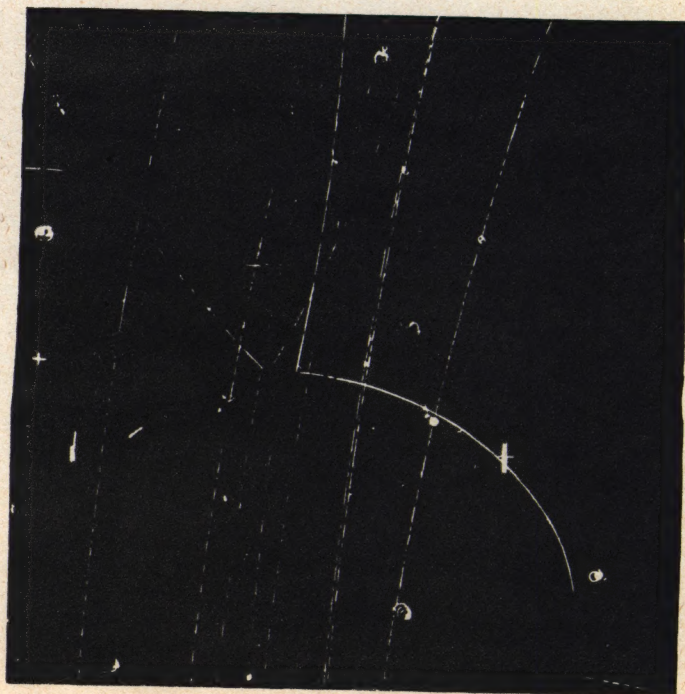
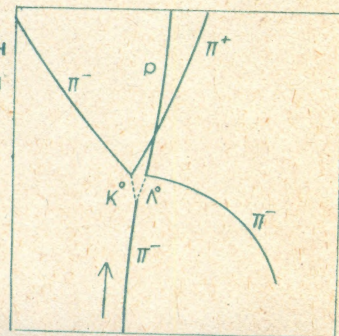


На верхней фотографии — следы частиц в пузырьковой камере. Частица, проходя через готовую закипеть жидкость, вызывает вдоль своего пути образование пузырьков (кипение). На нижней фотографии — выбраны из той же картины наиболее важные следы и переведены на экран специального проектора.

Отрицательный K -мезон вылетает снизу и сталкивается с протоном p . Из места столкновения вылетают: нейтральный K -мезон, протон p и отрицательный π -мезон. Нейтральный K -мезон следы не оставляет, но пролетев около 10 см, распадается на пару π -мезонов: на положительный π^+ и отрицательный π^- . Отрицательные частицы заворачиваются магнитным полем вправо, положительные — влево. Через стомиллионную долю секунды положительный π^+ -мезон распадается на положительный μ^+ -мезон и нейтрино. Положительный μ^+ -мезон пролетает около 1 см и останавливается, а через миллионную долю секунды распадается на позитрон e^+ , нейтрино и антинейтрино. На снимке большая дуга сверху — путь позитрона e^+ .



p протон
 π^+ положительный π -мезон
 π^- отрицательный π -мезон
 Λ^0 нейтральные лямбда-частицы
 K^0 нейтральный K -мезон
 e^+ позитрон



Рождение и распад K -мезона и λ -гиперона. Слева показана схема этого «события» и пояснены обозначения частиц.